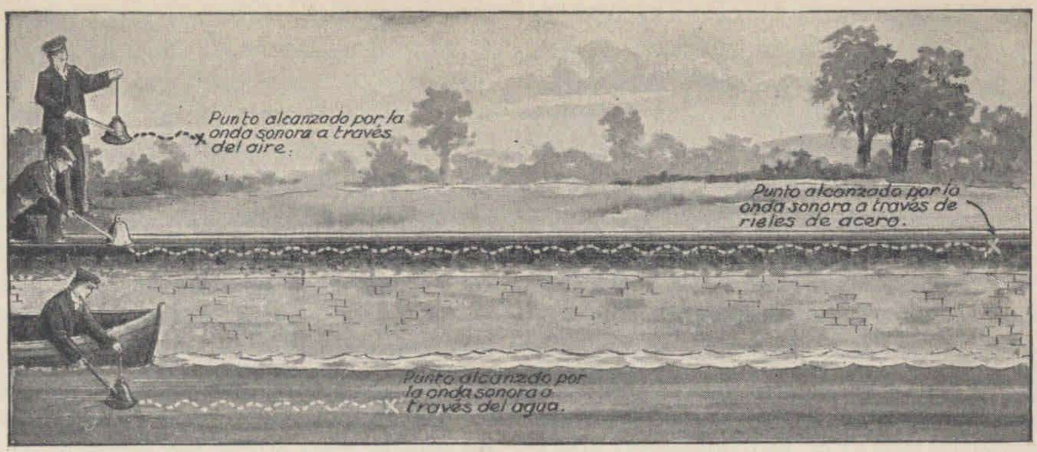


Esta lámina nos muestra las distancias que alcanzarían, en un tiempo determinado, las ondas sonoras producidas por campanas tocadas simultáneamente, según fueran transmitidas por el aire, el agua o el acero.

# LAS ONDAS SONORAS

CUANDO estudiamos la luz, aprendimos que un objeto luminoso no lo es sino en relación con la vista que lo percibe. Toda la naturaleza se halla sumida en la oscuridad cuando no hay ojos que puedan ver. Asimismo el «silencio de los espacios celestes» no es nunca interrumpido, si no hay orejas que oigan. Estudiaremos ahora ese algo que hay fuera de nosotros y que impresiona el oído; podemos darle el nombre de sonido, aunque no lo sea realmente hasta que lo ha percibido nuestro nervio acústico.

El sonido, lo mismo que la luz, consiste en un movimiento ondulatorio; y los principios relativos a esa clase de movimientos le son, por tanto, aplicables como a aquéllos,—según veremos más adelante. Pero, en otros particulares, la diferencia entre esos dos movimientos es muy grande. Llamamos *medio* a una cosa cualquiera que sirva para llevar, conducir o trasladar, aunque el sentido que suele darse a esa palabra es muy diferente. Por consiguiente, el sonido, al revés de la luz y del calor de radiación, es un movimiento ondulatorio, que se propaga en un medio o ambiente material. Este medio es con frecuencia el aire, pero podría ser cualquier gas o cualquiera mezcla de gases, algún líquido, como el agua, o un cuerpo sólido.

No pueden producirse sonidos en donde no hay materia, porque el éter no los transmite; de manera que no es posible que ninguna conmoción ocurrida en la luna o en el sol produzca un ruido que podamos percibir, ya que más allá de los límites de la atmósfera terrestre no hay otra cosa que el éter entre nosotros y los cuerpos celestes, y ese éter, si bien transmite la luz, no transmite los sonidos. El hecho de que el sonido consiste en un movimiento ondulatorio, o sea, en una vibración, es de los que pueden comprobarse fácilmente. Si, en efecto, cogemos un cordel por sus dos extremos y le damos un fuerte tirón, observaremos que vibra, produciendo su movimiento, un leve sonido musical.

Lo mismo puede decirse de una cuerda de piano; también son perceptibles las vibraciones de una campana cuando ha sido tocada; y sabemos, por último, que si despues de golpear un vaso, lo tocamos con el dedo, haremos cesar el sonido al mismo tiempo que la vibración, lo cual demuestra que ésta es causa del primero. Cada vez que se mueve la cuerda o la campana, producen en el aire una leve conmoción, originándose una serie de ondas que llegan hasta nuestro oído y se convierten entonces en sonido.

Fácilmente puede demostrarse que es el aire y no el éter el que transmite esas ondas. Si colocamos un timbre eléctrico dentro de una máquina neumática y

empezamos a enrarecer el aire, observaremos que no cambia el aspecto del timbre, porque la luz que lo alumbra se propaga por medio del éter; en cambio, decrecerá gradualmente la intensidad del sonido producido por el timbre, hasta que cese por completo. El timbre sigue vibrando como antes, pero faltándole aire, no puede producir aquellas ondas, a las que damos el nombre de sonido. Si entonces dejamos que poco a poco vuelva a entrar el aire, el sonido se producirá de nuevo. Este sencillo experimento nos enseña no sólo cómo se transmiten los sonidos, sino que la intensidad de los mismos depende, hasta cierto punto, del estado del aire.

Siempre que tengamos ocasión de comparar las velocidades respectivas de la luz y del sonido, observaremos que hay entre ellos una diferencia muy considerable. El fogonazo producido al disparar un cañón situado a gran distancia, se ve varios segundos antes de que se oiga el ruido del disparo. La luz se transmite tan de prisa que por muy lejos que esté el cañón, vemos lo que ha sucedido al cabo de algunas milésimas partes de segundo; pero el sonido se propaga con relativa lentitud, y es fácil calcular cuál es su velocidad.

## POR QUÉ ES TRASMITIDO EL SONIDO MÁS DE PRISA UNAS VECES QUE OTRAS

La velocidad de la luz y la de los rayos caloríficos es siempre exactamente igual en todas las circunstancias que nos es dable observar. No sucede así, ni mucho menos, con el sonido, cuya velocidad varía muchísimo según los casos.

Observamos que, en primer lugar, y afortunadamente para el arte musical, la elevación o intensidad de los sonidos no influyen en su velocidad de una manera apreciable. Sería, en efecto, gravísimo inconveniente el que, al escuchar una orquesta, la voz de la flautas llegase a nuestros oídos uno o dos compases antes que la de los contrabajos, a pesar de haberse propuesto el compositor que las oyéramos a un mismo tiempo; o el que una melodía tocada con fuerza por una parte de la orquesta y acompañada suavemente por la otra, llegara a nuestros oídos antes o después del acompañamiento.

La velocidad media del sonido a través del aire es de unos 330 metros por segundo. Al subir la temperatura, el aire se pone algo más elástico—rebota, por decirlo así, más fácilmente cuando se le hiere—atravesándolo, por lo tanto, el sonido con más facilidad. La velocidad del sonido aumenta, pues, un poco al subir la temperatura del aire, mientras no varíe la densidad. Una vez nos hagamos cargo de ese principio de la elasticidad, comprenderemos por qué el sonido atraviesa más rápidamente los líquidos que lo gases, como el aire, y se propaga más deprisa todavía a través de los sólidos.

## POR QUÉ SE PROPAGAN LOS RUIDOS MAS DE PRISA POR EL HIERRO QUE POR EL AIRE

Un metal como el hierro, en el estado sólido, tiene muchísima más elasticidad que el aire, y el sonido lo recorre diez y siete veces más de prisa que a este último. Esto significa que unas ondas, de la misma forma que las que atraviesan el aire, traspasan la masa sólida de hierro. Ahora bien; es posible que en este caso, la palabra velocidad dé lugar a confusiones, y, por lo tanto, conviene que expliquemos desde luego—si bien no hemos de tratar de este punto hasta más adelante—que el tono o elevación de una nota musical depende del número de vibraciones que llegan a nuestros oídos en un segundo.

Esto es cosa muy distinta de la rapidez con que los sonidos se propagan por el aire o por la substancia que sea.

Un sonido determinado que se propaga a través del hierro, llegará a nuestro oído diez y siete veces más deprisa que si fuera transmitido por el aire, pero su tono será exactamente igual, porque a pesar de que las vibraciones se transmitan más rápidamente por el hierro que por el aire, el número de dichas vibraciones producidas en cada segundo será el mismo en ambos casos.

Estudiando la intensidad de los soni-

dos, nos hallamos con que la primera iey relativa a dicha intensidad es la misma que la que rige los demás movimientos de carácter ondulatorio, como la luz o el calor de radiación. Esta ley también es aplicable a otras cosas que no son—que sepamos—ondulaciones, como por ejemplo, la gravitación.

## POR QUÉ SE OYE MEJOR EN LAS NOCHES FRÍAS Y SERENAS

En el lenguaje científico se formula dicha ley de la manera siguiente: « la intensidad del sonido varía en razón inversa del cuadrado de la distancia ». Esto viene a significar, en forma breve y concisa, que si nos alejamos de un foco sonoro a una distancia tres veces mayor que la distancia a que estábamos, la intensidad del sonido no será la tercera, sino la novena parte de lo que era antes, ya que el nueve es el cuadrado de tres. El cuadrado de un número es este mismo multiplicado por sí mismo.

Esto es cuanto debe decirse respecto de fuerzas como la gravitación o la luz; pero tratándose del sonido, intervienen otros factores, pues la densidad del medio a través del cual se transmite es cosa de suma importancia. En las noches muy frías el aire suele ser más denso, observándose, entre otras cosas, que los automóviles andan mejor, porque al motor le es suministrado el oxígeno con más abundancia; otra consecuencia de la densidad del aire es que los sonidos resultan más intensos. Por el contrario, el disparo de un cañón situado a grande altura en las montañas, donde el aire está enrarecido, es parecido al ruido de un petardo, lo cual recuerda el experimento efectuado con el timbre y la máquina neumática.

Cuando hallándonos a orillas del mar contemplamos las olas que embisten contra un acantilado o una escollera, sabemos que pueden rebotar, o sea, ser reflejadas; con frecuencia se rompen y deshacen, dependiendo el efecto producido de la clase de superficie que han encontrado en su curso. Si esta superficie es lisa y plana, observamos que las olas rebotan o son reflejadas como una pelota lanzada contra una pared. Ahora bien; si el sonido consiste realmente en un movimiento de ondulación y si el darle ese nombre es algo más que una simple figuración, es de suponer que puede reflejarse, como las olas del mar; y así sucede, efectivamente.

## DE QUÉ MODO LAS ONDAS SONORAS REBOTAN CONTRA UNA PARED

Todos los movimientos ondulatorios pueden sufrir reflexiones, lo mismo si se trata del sonido que de los rayos caloríficos, de la luz o de las olas del mar. Hay leyes que son aplicables a cada uno de esos distintos casos. La primera de estas leyes, formulada en lenguaje científico, es como sigue: « el ángulo de reflexión es igual al ángulo de incidencia ». Esto quiere decir que el ángulo según el cual la ola va a dar en una superficie, es igual al ángulo según el cual es reflejada por esa superficie.

El mismo principio es aplicable a una bola de billar que choca contra la banda de la mesa, o a una pelota lanzada contra una pared. Si lanzamos la pelota de plano, rebotará perpendicularmente a la superficie de la pared; si la lanzamos al sesgo, rebotará según una línea oblicua a esa misma superficie. En el supuesto de que la pared sea plana, de que la pelota no esté animada de un movimiento de rotación, y de que podamos medir los ángulos de incidencia y reflexión, veríamos que son iguales estos ángulos.

Lo mismo es que se trate del sonido, de la luz o del calor radiante. Un punto que conviene tener en cuenta es que el nivel—o, como se dice, el plano—en que la onda hiere la superficie, es el mismo que el plano en que es reflejada por dicha superficie. Supongamos, por ejemplo, que la onda se propagase al nivel de la hoja en que están impresos estos renglones y que fuese a dar oblicuamente en una pared junto al borde del papel; sería, en este caso, reflejada no sólo según un ángulo igual al de su incidencia, sino al mismo nivel que antes, es decir, en el plano del papel sin sufrir desviación alguna hacia arriba ni hacia abajo.

**DE QUÉ MODO LOS TRUENOS QUE SE PRODUCEN EN LAS NUBES SON REFLEJADOS POR LA TIERRA**

También es aplicable ese principio a la luz y al calor de radiación. Sabido es que los sonidos parecen diferentes, según los percibimos al aire libre o en una habitación cerrada; nuestra propia voz suena de distinto modo según el lugar en que nos hallamos. Todo eso depende de la reflexión de las ondas sonoras. Pero lo que mejor puede demostrarnos el hecho de que se reflejan los sonidos, es fijarnos en el eco.

Uno de los procedimientos que pueden emplearse para averiguar la velocidad de las ondas sonoras consiste, precisamente, en producir un sonido a cierta distancia de una superficie en que pueda repercutir, y observar el tiempo que tarda en llegar a nuestros oídos. Por otra parte, existen ciertos ecos naturales, además de los que provocamos nosotros, siendo uno de los mejores ejemplos de reflexión del sonido el retumbar de los truenos.

El ruido del trueno es debido a la conmoción que producen en el aire los rayos, al saltar de una nube a otra o de una nube a la tierra. Si no hay eco, oímos únicamente un estampido, que corresponde a la descarga instantánea que lo ha causado; y, cuando decimos que retumba el trueno, es que ese estampido repercute cierto número de veces entre las nubes y la tierra.

**EL ECO PRODUCIDO POR LOS SONIDOS MUSICALES EN LAS PAREDES DE UNA SALA GRANDE**

En los locales destinados a celebrar reuniones o audiciones musicales, los ecos suelen ser con frecuencia gran inconveniente. El que oigamos con debida claridad las palabras de un orador, o el que escuchemos con agrado una pieza de música, depende de que no haya eco alguno que pueda percibirse. En una de las principales salas de concierto de Londres, por ejemplo, es casi imposible apreciar las bellezas de la música, debido a los ecos que se producen en la superficie de su inmensa pared circular.

Así es que, cuando un concertista toca una nota del piano, el sonido repercute en todos los ámbitos de la sala, produciendo el efecto de un arpegio ejecutado rápidamente. Esto, no sólo perturba la audición, sino la misma ejecución de la música. Aun en los casos más favorables, el conjunto resulta siempre más o menos confuso, como cuando un principante toca una pieza en el piano usando siempre el pedal.

**COSAS QUE CONVIENE RECORDAR EN LOS CONCIERTOS Y EN LAS ASAMBLEAS**

Todavía es peor, cuando se trata de oir un discurso pronunciado por un orador, pues conviene que en tal caso se perciba distintamente cada sílaba, sin que se confunda con el eco de las palabras anteriores. Es preciso, por lo tanto, valerse de diversos medios para evitar, en lo posible, la reflexión del sonido. Los cortinajes, los tapices, y otras cosas por el estilo, son malos reflectores del sonido y resultan de cierta utilidad; también una serie de alambres tendidos de un lado a otro de la sala encima del auditorio, pueden contribuir al desbaratamiento de las ondas sonoras, impidiendo que, por lo menos, sean reflejadas desde el techo.

La gente misma mejora, con su sola presencia, las condiciones de una sala en que ha de hablarse o cantarse, pues sus cuerpos constituyen por encima del piso una superficie irregular contra la cual vienen a estrellarse las ondas sonoras, del mismo modo que las olas del mar se deshacen al romper contra las aspererezas de un acantilado de una manera más completa que cuando chocan contra una escollera plana.

Se han realizado últimamente en Francia detenidos estudios, los cuales han demostrado de qué modo debe construirse un local para que la reflexión del sonido resulte útil, en vez de ser perjudicial. Cuando las superficies reflectoras distan mucho del orador o del músico, el sonido tarda cierto tiempo en reflejarse, y se percibe claramente el eco; pero, si el sonido se produce muy cerca de una superfice curva, como ocurre en muchas iglesias, el eco o la reflexión lo devuelve tan de prisa que en

vez de percibirlo el oído en forma de ruido perturbador, se funde o se mezcla con el sonido del cual es eco, y aumenta su claridad.

### DOS HOMBRES QUE SE HABLARON A UNA DISTANCIA DE MÁS DE UN KILÓMETRO

El principio de los ecos puede tener otras aplicaciones útiles. Consta que dos exploradores de las regiones árticas consiguieron hablarse, mediando entre ellos la distancia de cerca de dos kilómetros, pues la superficie lisa del hielo reflejaba admirablemente sus voces.

La famosa Galería de los Susurros, en el Capitolio de Washington (Estados Unidos), y la Sala de los Secretos del Escorial (España) vienen a ser, en realidad, otros ejemplos del mismo fenómeno. El principio de los ecos o reflexión del sonido es, por último, importantísimo, siempre que se trate de utilizar cualquier instrumento parecido a una trompeta. El uso que hacen los animales de la parte externa de su oreja, así como el empleo de la trompetilla por los sordos, se funda en dicho principio de la reflexión del sonido. El sonido es reflejado de un lado a otro de la trompetilla o de la oreja, hasta que llaga al lugar en donde ha de percibirse.

El principio de la reflexión es igualmente aplicable cuando se trata de usar la trompa, no para recoger el sonido, sino para producirlo, como, por ejemplo, en los portavoces que emplean los marineros o en los que se colocan delante de los fonógrafos.

Sabemos que la luz no sólo puede ser reflejada, sino también desviada de su curso o sea *refractada*. Esto último es lo que ocurre cuando concentramos la luz del sol sobre un papel por medio de un lente; y asimismo en otros muchos casos. Ahora bien; resulta muy interesante averiguar que el sonido puede ser refractado lo mismo que la luz. La refracción de la luz tiene suma importancia y habremos de estudiarla detenidamente; la del sonido no tiene importancia práctica, pero es interesante, porque nos enseña ciertas cosas relativas al movimiento ondulatorio.

### EXPERIMENTO LLEVADO A CABO CON UN GLOBO Y UN RELOJ

Si tomamos una gran vejiga, o globo, y la llenamos de gas ácido carbónico, observaremos que esta vejiga produce en el sonido el mismo efecto que una lente de cristal produce en la luz. Las ondas sonoras son desviadas por el gas y se concentran en un punto situado al otro lado del globo, del mismo modo que la luz del sol se concentra o enfoca en el papel por medio de la lente.

Una experiencia muy conocida, efectuada por Lord Rayleigh, quien ha estudiado detenidamente los fenómenos del sonido, consiste en colocarnos frente a un reloj a una distancia tal que no oigamos nada; luego se interpone una vejiga llena de gas ácido carbónico y se le imprime un lento balanceo. Si se encuentra el reloj a la distancia debida, percibiremos su tic-tac cada vez que la vejiga venga a ocupar su posición intermedia y enfoque las ondas sonoras.